

Internet of Things

物联网工程与技术规划教材

传感器技术与虚拟仪器

Sensor Technology and Virtual Instrument

苗凤娟 邹立颖 冯双 编著
陶佰睿 主审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

物联网工程与技术规划教材

传感器技术与虚拟仪器

苗凤娟 邹立颖 冯 双 编著

陶佰睿 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

传感器技术在现代信息技术中占有举足轻重的地位，是现代信息社会发展必不可少的重要技术之一。本书重点讲述了几种常用的传感器，如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式、热电式、光电式传感器的基本原理、相关特性、信号调节电路及其应用，对几种新型传感器，如半导体气体、湿度、超声波、电化学、数字智能传感器也做了详细介绍。同时还结合虚拟仪器技术，开展传感器实验研究和工程设计，为培养学生的工程实践和科研能力提供案例，内容系统新颖、讲述透彻、适用面广。

本书可作为高等学校非测控专业本科生和研究生“传感器技术与虚拟仪器”课程的教材，也可供从事测控工作的工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术与虚拟仪器 / 苗凤娟, 邹立颖, 冯双编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.8

ISBN 978-7-121-26966-0

I. ①传… II. ①苗… ②邹… ③冯… III. ①传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 193629 号

策划编辑: 章海涛 戴晨辰

责任编辑: 章海涛 文字编辑: 戴晨辰

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 389.76 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前 言

随着现代信息技术的发展,传感器技术已经逐渐发展成当前科学技术的重要课题,更是测量技术、半导体技术、计算机技术、微电子技术等众多学科相互交叉、综合性、应用性较高的前沿技术之一,是现代信息社会不可缺少的重要组成部分。目前,国内许多高校都开设了相应课程,作者结合多年教学和科研实践经验编写此书,对当前常用的几类传感器,如电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式、热电式、光电式传感器的基本原理、相关特性、信号调节电路及其应用都做了较为详细的分析,对几种新型传感器,如半导体气体、湿度、超声波、电化学、数字智能传感器也做了详细介绍,特别是为传感器与虚拟仪器结合提供了相关案例。

全书共 15 章,分为两大部分,第一部分较为详细地介绍了各类常用传感器的基本定义、原理和应用;第二部分为虚拟仪器的基础知识、基本操作及具体开发流程。第 1 章介绍了传感器的基础知识,包括传感器的概述、分类、基本特性、标定、接口电路;第 2 章至第 13 章为各类常见传感器的原理及应用,包括电阻应变式、电容式、电感式、压电式、磁电式、热电式、光电式、半导体气体、湿度、超声波、电化学、数字智能等传感器;第 14 章介绍了 LabVIEW 的编程环境、程序对象的基本操作、运行和调试等;第 15 章结合实际应用实例介绍传感器在虚拟环境中的具体开发过程。

本书将传感器原理、应用及虚拟仪器 LabVIEW 紧密结合,内容全面、系统,叙述简明,深入浅出。可作为高等学校非测控专业本科生和研究生“传感器技术与虚拟仪器”课程的教材,也可供从事测控工作的工程技术人员参考。

本书由齐齐哈尔大学苗凤娟、邹立颖、冯双编著,陶佰睿主审。其中,第 1、4、7、8、11、12 章由苗凤娟编写,第 2、3、6、9 章由邹立颖编写,第 5、10、13、14、15 章由冯双编写。鉴于作者学识和水平有限,书中难免存在一些不妥与疏漏,恳请广大读者批评指正。

本书的全部配套资源可从华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 注册免费下载。

作 者

目 录

第 1 章 传感器技术基础	1
1.1 传感器的概述	1
1.1.1 传感器的定义	1
1.1.2 传感器的组成	2
1.1.3 传感器的一般要求	2
1.1.4 传感器与自动测控系统	2
1.1.5 自动测控系统举例	3
1.1.6 虚拟仪器技术	4
1.2 传感器的分类	5
1.2.1 按被测量分类	5
1.2.2 按传感器工作原理分类	6
1.3 传感器的基本特性	7
1.3.1 传感器的静态特性	7
1.3.2 传感器的动态特性	11
1.4 传感器的标定	14
1.4.1 传感器的静态特性标定	15
1.4.2 静态标定例	15
1.5 传感器接口电路	16
1.5.1 传感器输出信号的特点	16
1.5.2 典型的传感器接口电路	17
第 2 章 电阻应变式传感器	20
2.1 电阻应变式传感器的结构和类型	20
2.2 典型电阻应变式传感器的工作原理	20
2.2.1 电阻丝式应变片	21
2.2.2 箔式应变片	23
2.2.3 薄膜应变片	24
2.2.4 半导体应变片	24
2.3 电阻应变式传感器的特性	24
2.3.1 应变式传感器的静态特性	24
2.3.2 应变式传感器的动态特性	29
2.4 应变式传感器的测量电路	31
2.4.1 直流电桥测量电路	31
2.4.2 交流电桥测量电路	35
2.5 压阻式传感器	37

2.5.1	压阻式传感器的工作原理	37
2.5.2	压阻式传感器的测量电路和温度补偿电路	37
2.5.3	压阻式传感器的应用	39
2.6	应变式传感器的应用	40
2.6.1	应变式力传感器	40
2.6.2	应变式压力传感器	43
2.6.3	应变式加速度传感器	45
第3章	电容式传感器	46
3.1	电容式传感器的工作原理和类型	46
3.1.1	电容式传感器的工作原理	46
3.1.2	变极距型电容式传感器	47
3.1.3	变面积型电容式传感器	50
3.1.4	变介电常数型电容式传感器	52
3.2	电容式传感器的信号测量及转换电路	53
3.2.1	电容式传感器等效电路	53
3.2.2	调频测量电路	54
3.2.3	电桥电路	55
3.2.4	二极管双T形交流电桥电路	56
3.2.5	差动脉冲宽度调制电路	57
3.2.6	运算放大器式电路	59
3.2.7	直放式与外差式调频测量改进电路	59
3.2.8	谐振式调频测量改进电路	60
3.3	电容传感器抗干扰及提高精度的措施	60
3.4	电容式传感器的特点及应用	63
3.4.1	差动式电容测厚传感器	63
3.4.2	电容式料位传感器	64
3.4.3	电容式接近开关传感器	64
3.4.4	液体燃料测量电容传感器	65
第4章	电感式传感器	66
4.1	自感式传感器	66
4.1.1	自感式传感器的工作原理	66
4.1.2	自感式传感器的测量电路	70
4.1.3	自感式传感器的应用	73
4.2	差动变压器式传感器	74
4.2.1	差动变压器式传感器的工作原理	74
4.2.2	差动变压器式传感器的误差因素分析	76
4.2.3	差动变压器式传感器的测量电路	77
4.2.4	差动变压器式传感器的应用	81

4.3	电涡流式传感器	82
4.3.1	电涡流式传感器的工作原理	82
4.3.2	电涡流式传感器的测量电路	83
4.3.3	电涡流式传感器的应用	85
第5章	压电式传感器	87
5.1	压电式传感器的工作原理	87
5.1.1	压电效应	87
5.1.2	压电材料	88
5.1.3	压电方程	92
5.1.4	压电元件的结构形式	92
5.2	压电式传感器的等效电路和测量电路	93
5.2.1	压电式传感器的等效电路	93
5.2.2	压电式传感器的测量电路	94
5.3	引起压电式传感器测量误差的因素	96
5.4	压电式传感器的应用	97
5.4.1	压电式测力传感器	97
5.4.2	压电式流体压力传感器	98
5.4.3	压电式加速度传感器	99
5.4.4	压电式玻璃破碎报警器	100
第6章	磁电式传感器	101
6.1	磁电感应式传感器	101
6.1.1	磁电感应式传感器的工作原理	101
6.1.2	磁电感应式传感器的基本特性	102
6.1.3	磁电感应式传感器的测量电路	103
6.1.4	磁电感应式传感器的应用	104
6.2	霍尔式传感器	105
6.2.1	霍尔效应及霍尔元件	105
6.2.2	霍尔式传感器的应用	110
第7章	热电式传感器	112
7.1	热电偶	112
7.1.1	热电偶的工作原理	112
7.1.2	热电偶的结构	118
7.2	热电阻	120
7.2.1	金属热电阻	120
7.2.2	半导体热敏电阻	123
7.3	晶体管 and 集成温度传感器	126
7.3.1	晶体管和集成温度传感器的工作原理	126
7.3.2	集成温度传感器的应用	128

第 8 章 光电式传感器	130
8.1 光电管	130
8.2 光电倍增管	131
8.3 光敏电阻	132
8.3.1 光敏电阻的工作原理	132
8.3.2 光敏电阻的结构	132
8.3.3 光敏电阻的主要参数	132
8.3.4 光敏电阻的基本特性	133
8.4 光敏二极管和光敏晶体管	135
8.4.1 光敏二极管和光敏晶体管的工作原理	135
8.4.2 光敏二极管和光敏晶体管的基本特性	136
8.5 光电池	137
8.5.1 光电池的工作原理	138
8.5.2 光电池的基本特性	138
8.6 光电耦合器件	140
8.6.1 光电耦合器	140
8.6.2 光电开关	140
8.7 电荷耦合器件	141
8.7.1 CCD 的工作原理	141
8.7.2 CCD 的应用	142
8.8 光纤传感器	144
8.8.1 光纤的结构和传输原理	145
8.8.2 光纤传感器的应用	146
8.9 红外传感器	147
8.10 光电式传感器的应用	151
8.10.1 模拟式光电传感器	151
8.10.2 脉冲式光电传感器	152
8.10.3 CCD 图像传感器	153
第 9 章 半导体气体传感器	155
9.1 半导体气体传感器及其分类	156
9.2 电阻式半导体气体传感器	158
9.2.1 表面控制型电阻式传感器	158
9.2.2 体控制型电阻式传感器	161
9.3 非电阻式半导体气体传感器	162
9.3.1 二极管传感器	162
9.3.2 MOS 二极管传感器	163
9.3.3 MOS 场效应晶体管传感器	164
9.4 半导体气体传感器的应用	164

第 10 章	湿度传感器	167
10.1	湿度及湿度传感器	167
10.1.1	湿度及其表示方法	167
10.1.2	湿度传感器及其特性参数	168
10.1.3	湿度传感器的分类	169
10.2	电解质系湿度传感器	169
10.2.1	无机电解质湿度传感器	170
10.2.2	高分子电解质湿度传感器	171
10.3	半导体及陶瓷系湿度传感器	173
10.3.1	涂覆膜型	173
10.3.2	烧结体型	174
10.3.3	薄膜型	175
10.4	湿度传感器的应用及发展动向	175
第 11 章	超声波传感器	177
11.1	超声波及其物理性质	177
11.2	超声波传感器的结构	178
11.3	超声波传感器的应用	179
11.3.1	超声波物位传感器	179
11.3.2	超声波流量传感器	179
第 12 章	电化学传感器	181
12.1	电化学传感器的结构及其工作原理	181
12.2	纳米电化学传感器电极设计	183
12.3	电化学传感器循环伏安测试技术	184
12.3.1	电化学测试	184
12.3.2	电化学循环伏安测试	184
12.4	电化学乙醇传感器测试	186
12.4.1	电化学窗口的选择	186
12.4.2	电极电化学稳定性测试	187
12.4.3	传感器灵敏度测试	188
第 13 章	数字智能传感器	190
13.1	智能式传感器的构成及各部分功能	190
13.2	压阻式压力传感器智能化	191
13.3	智能式传感器发展方向与途径	194
第 14 章	传感器与虚拟仪器测量技术	195
14.1	LabVIEW 编程基础	195
14.2	LabVIEW 开发环境	196
14.3	LabVIEW 菜单栏	197

14.4	LabVIEW 工具条	201
14.5	LabVIEW 操作模板	202
第 15 章	传感器与虚拟仪器应用案例	205
15.1	数据采样电路	205
15.2	数据图形化输出	207
15.2.1	数字波形图	207
15.2.2	三维图形	208
15.3	文件 I/O 操作	210
15.3.1	文件 I/O 的格式	210
15.3.2	波形文件 I/O	211
15.4	单摆运动	212
15.5	单边傅里叶变换	214
15.6	提取正弦波	217
	参考文献	220

第 1 章

传感器技术基础

在第一次产业革命中，机械代替了体力劳动，在第二次产业革命中，机械和电子装置代替了部分脑力劳动，传感器在这一时期出现。世界目前正处在以原子能、电子计算机、空间技术、生物工程为标志的第三次科技革命过程当中，而且当前全球正在出现以资讯网络、智能制造、新能源和新材料为代表的新一轮技术创新浪潮，新型传感器和信息器件对工业发展和实体经济带来广泛影响，新一轮产业变革也在酝酿。信息的拾取、传输和处理，即传感技术、通信技术和计算机技术成为现代技术的三大基础。其中传感技术是信息技术系统的“感官”、通信技术是“神经”、而计算机技术是“大脑”，它们是现代信息产业的三大支柱。

因为人可以通过五种感官（视、听、嗅、味、触）接受外界的信息，所以人们形象地把传感器比喻为“电五官”。但在基础学科和尖端技术的研究中，大到上千光年的茫茫宇宙，小到 10^{-13} cm 的微观粒子，长到数十亿年的天体演化，短到 10^{-24} s 的瞬间反应；高达 5×10^8 °C 的超高温、 3×10^8 Pa 的超高压，低到 0.01K 的超低温、 10^{-13} Pa 的超真空；强到 25T 以上的超强磁场，弱到 10^{-11} T 的超弱磁场……要测量或控制这些无法用人类的感官去获取的信息，必须借助于配备有相应传感器的高精度测控仪器或大型测控系统来实现。

1.1 传感器的概述

1.1.1 传感器的定义

传感器中包含着两个必不可少的部分：一是拾取信息；二是把拾取到的信息变换成与被测量有确定函数关系且便于传输和处理的电学量，这些电学量可以是电压、电流、电阻、电感、电容等。

比如，利用应变式力传感器，把力及可转换成力的物理量（如扭矩、位移、速度、加速度等）作用在弹性体上，通过使弹性体产生应变，引起贴片电阻变化；利用压阻式传感器，把压力转换成相应的电阻变化；利用温度传感器，把温度值转变成与被测温度有确定关系的电阻或电流的变化；利用化学传感器，把被测液体中的 pH 值转换成电压的变化；利用生物传感器，将被测生物功能物质（如酶、抗体、原核生物细胞等）转换成相应的便于处理的电信息等。

国家标准 GB7665—1987 对传感器（Transducer/Sensor）的定义为：能感受规定的被测量，并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件、转换元件和调节转换电路组成。此处“可用输出信号”是指便于处理和传输的电信号。所以传感器可狭义定义为将非电量转换成电量的器件。

传感器包含三层含义：

- ① 传感器是一个测量装置；
- ② 在规定的条件下感受外界信息；
- ③ 按一定规律转换成易于传输和处理的电信息。

1.1.2 传感器的组成

传感器通常由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成，如图 1-1 所示。

敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分。转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分。转换电路是指将转换元件输出的电量转换成便于显示、记录、控制和处理的适合电量的部分。

最简单的传感器由一个敏感元件组成，感受被测量的同时直接输出电量，比如热电偶。有些传感器比如压电式加速度传感器，只由敏感元件和转换元件组成，没有转换电路。

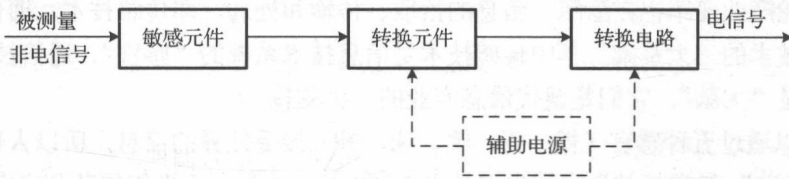


图 1-1 传感器组成框图

1.1.3 传感器的一般要求

由于各种传感器的原理、结构不同，使用环境、条件、目的不同，其技术指标也不可能相同，但是有些一般要求是相同的。

- ① 足够的容量：传感器的工作范围或量程足够大；具有一定的过载能力。
- ② 灵敏度高，精度适当：即要求其输出信号与被测信号成确定的关系（通常为线性），且比值要大；传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求。
- ③ 响应速度快，工作稳定，可靠性好。
- ④ 使用性和适应性强：体积小，重量轻，动作能量小，对被测对象的状态影响小；内部噪声小，又不易受外界干扰的影响；其输出力求采用通用或标准形式，以便与系统对接。
- ⑤ 使用经济：成本低，寿命长，且便于使用、维修和校准。

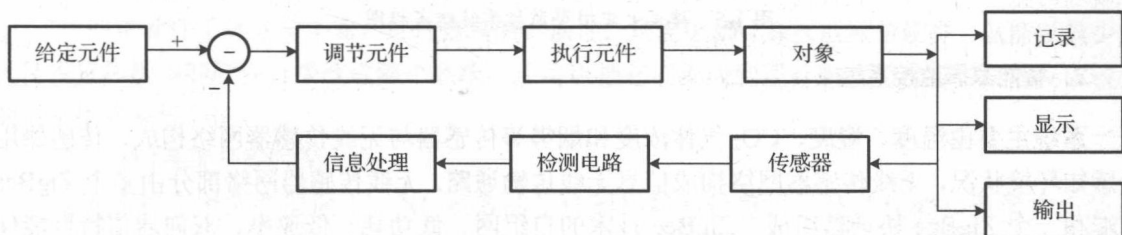
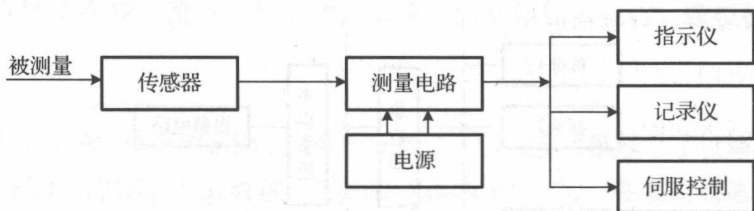
当然，能完全满足上述性能要求的传感器是很少的。我们应根据应用的目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和原理等具体条件做全面综合考虑。

1.1.4 传感器与自动测控系统

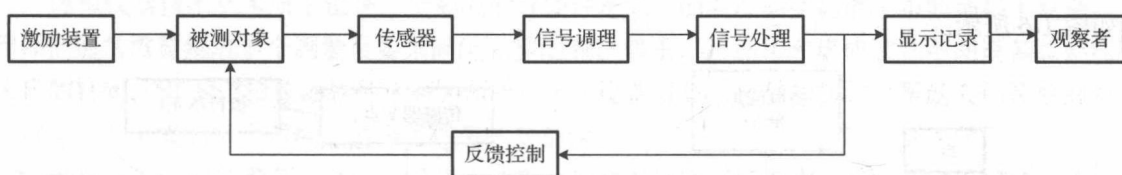
当前，自动化是以电子、计算机、网络等信息技术为核心的柔性自动化、自适应控制与智能化。检测可以使机器和生产系统按正确的规程自动运行。而自适应控制是使系统自动适应变化的内外部和条件和条件，按最佳方案运行、检测与控制的基础。

自动检测和自动控制技术是人们对事物规律进行定性了解和定量掌握及预期效果控制所从事的一系列技术措施。自动测控系统是完成这些措施的装置。

自动测控系统分为开环测量系统和闭环测量系统。图 1-2 和图 1-3 分别是开环自动测控系统和闭环自动测控系统框图。



测控系统组成部分包括激励装置、被测对象、传感器、信号调理、信号处理、显示记录、观察者和反馈控制，如图 1-4 所示。激励装置作用于被测控的对象或系统，使之产生出要获取信息载于其中的一种新的信号。



这里，传感器的主要作用就是检测被测物理量的参数变化。但是由于传感器自身的输出信号很微弱，而且还伴有各种噪声，所以后续还需要噪声处理和信号转换与放大等电路。

信号的调理环节是把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。这种信号的转换，多数是电信号之间的转换。如幅值放大，将阻抗的变化转换成电压的变化或频率的变化等。信号的处理环节是把来自信号调理环节的信号进行各种运算、滤波和分析。信号的显示记录环节将来自信号处理环节的信号，以观察者易于观察的形式来显示或存储测试的结果。反馈控制环节用于实现系统的自动控制。

1.1.5 自动测控系统举例

1. 楼层火灾报警监控系统

在楼层每一个房间里放置温度和烟雾传感器，它们能够检测温度及浓度信号，并且通过串行总线送入由计算机组成的集中控制器，集中控制器负责汇总各房间的温度和烟雾浓度信号，并监控各房间温度、烟雾浓度是否异常。若某一房间起火时，烟雾浓度异常，会产生报警信

号，经过报警电路检测处理后，进行声光报警并打开喷淋设备灭火。楼层火灾报警监控系统组成框图如图 1-5 所示。

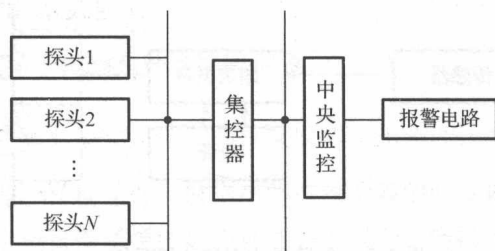


图 1-5 楼层火灾报警监控系统组成框图

2. 智能家居监控系统

系统主要由温度、湿度、CO₂ 气体浓度和烟雾等传感器与无线传感器网络构成，传感器用来感知环境状况，无线传感器网络构成信息无线传输通路。无线传感器网络部分由多个 ZigBee 终端和一个 ZigBee 协调器组成，ZigBee 技术的自组网、低功耗、低速率、双向通信特性能保证无线网络的稳健高效，同时确保用户能够通过 Internet 在 PC 端、机顶盒、手机客户端完成对智能家居的远程监控。当有异常气体浓度数据或者非法入侵信息上传至服务器后，PC 端和手机客户端应用会自动接收并显示异常情况，用户可以通过点击查看当前异常的具体数据，同时，亦可通过视频监控远程查看室内情况。PC 端可直接通过 Internet 网络查看视频监控数据，手机用户可以通过无线局域网或者 3G、4G 网络查看视频监控数据。智能家居监控系统整体方案如图 1-6 所示。

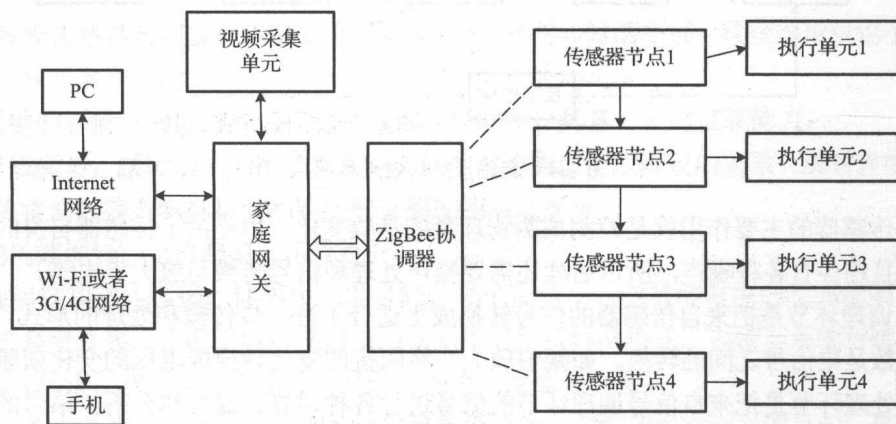


图 1-6 智能家居监控系统整体方案

1.1.6 虚拟仪器技术

虚拟仪器技术 (Virtual Instrument) 就是利用高性能的模块化硬件，结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。美国国家仪器公司 NI (National Instruments) 提出虚拟测量仪器的概念，引发了传统仪器领域的一场重大变革，使得计算机和网络技术得以长驱直入仪器领域，和仪器技术结合起来，开创“软件即是仪器”的设计平台。自 1986 年问世以来，世界各国的工程师和科学家们都已将 NI LabVIEW 图形化开发工具用于产品设计

周期的各个环节,从而改善了产品质量、缩短了产品投放市场的时间,并提高了产品开发和生产的效率。使用集成化的虚拟仪器环境与现实世界的信号相连,分析数据以获取实用信息,共享信息成果,有助于在较大范围内提高生产效率。同其他技术相比,虚拟仪器技术具有如下四大优势。

(1) 性能高

虚拟仪器技术是在 PC 技术的基础上发展起来的,所以完全“继承”了以即插即用 PC 技术为主导的最新商业技术的优点,包括性能卓越的处理器和文件 I/O,在数据高速导入磁盘的同时就能实时地进行复杂的分析。

(2) 扩展性强

NI 的硬件工具非常丰富,具有较高的灵活性,只需更新计算机或测量硬件,就能以最少的硬件投资和极少的软件升级改进整个系统。还可以把它们集成到现有的测量设备中,最终以较少的成本拓展系统功能。

(3) 节约系统开发时间

在驱动和应用两个层面上,NI 高效的软件架构能与计算机、仪器仪表和通信方面的最新技术结合在一起。具有良好的可视化界面,使用图形化的 G 语言,开发过程简单直观,与传感器兼容性好,无论是模拟传感器还是数字传感器都可以方便地接入系统。其强大的功能和灵活性可以方便用户轻松地配置、创建、发布、维护和修改高性能、低成本的测量和控制解决方案。

(4) 无缝集成

虚拟仪器技术从本质上说是一个集成的软硬件概念。随着产品在功能上不断地趋于复杂,工程师们通常需要集成多个测量设备来满足完整的测试需求,而连接和集成这些不同设备总要耗费大量的时间。NI 的虚拟仪器软件平台为所有的 I/O 设备提供了标准的接口,帮助人们轻松地将多个测量设备集成到单个系统,减少了任务的复杂性。

虚拟仪器由硬件设备、接口、设备驱动软件和虚拟仪器面板组成。其中,硬件设备与接口可以是各种以 PC 为基础的内置功能插卡、通用接口总线接口卡、串行口、VXI 总线仪器接口等设备,或者是其他各种可编程的外置测试设备,设备驱动软件是直接控制各种硬件接口的驱动程序,虚拟仪器通过底层设备驱动软件与真实的仪器系统进行通信,并以虚拟仪器面板的形式在计算机屏幕上显示与真实仪器面板操作元素相对应的各种控件。用户用鼠标操作虚拟仪器的面板就如同操作真实仪器一样方便。

1.2 传感器的分类

传感器种类繁多,同一种被测量可以用不同类型的传感器来测量,而有的传感器还可以测量不同的参数,所以传感器的分类方法有很多。常用的分类方法如下。

1.2.1 按被测量分类

按照被测量的不同,可将传感器分为力学量传感器、位移传感器、速度传感器、热量传感器、磁传感器、光传感器、放射线传感器、气体成分传感器、液体成分传感器等。这种分类能明确指出传感器用途,便于用户选择,但是缺点是品种繁多,不容易掌握其基本概念和原理。

1.2.2 按传感器工作原理分类

按传感器工作原理分类，可分为物理型、电化学型、生物型。

1. 物理型传感器

物理型传感器是利用某些变换元件的物理性质及某些功能材料的特殊物理性能制成的传感器，大致有以下几种。

(1) 电学式传感器

电学式传感器是非电量电测技术中应用范围较广的传感器，常用的有如下几种。

① 电阻式传感器：是利用变阻器将被测非电量转换为电阻信号的原理制成的。

一般有：电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式等。

主要用于：位移、压力、力、应变、力矩、气流流速、液位、液体流量等参数的测量。

② 电感式传感器：是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变自感或互感的电感量或压磁效应原理制成的。

主要用于：位移、压力、力、振动、加速度等参数的测量。

③ 电容式传感器：是利用改变电容的几何尺寸、极板相对位置或改变介质的性质和含量，从而使电容量发生变化的原理制成的。

主要用于：压力、位移、液位、厚度、成分含量等参数的测量。

④ 电涡流式传感器：是利用金属在磁场中运动切割磁力线，在金属内形成涡流的原理制成的。

主要用于：位移及厚度等参数的测量。

⑤ 磁电式传感器：是利用电磁感应原理把被测非电量转换成电量的原理制成的。

主要用于：位移及厚度等参数的测量。

(2) 磁学式传感器

磁学式传感器是利用铁磁物质的一些物理效应制成的。

主要用于：位移、转矩等参数的测量。

(3) 光电式传感器

光电式传感器是利用光电器件的光电效应和光学原理制成的，它在非电量电测及自动控制技术中有着重要的地位。

主要用于：测量光强、光通量、位移、浓度、转速、计数等参数。

(4) 电势型传感器

电势型传感器是利用热电效应、光电效应、霍尔效应等原理制成的。

主要用于：温度、磁通、电流、速度、光强及热辐射等参数的测量。

(5) 电荷传感器

电荷传感器是利用压电效应原理制成的。

主要用于：力及加速度的测量。

(6) 半导体传感器

半导体传感器是利用半导体的压阻效应、内光电效应、磁电效应、半导体与气体接触产生物质变化等原理制成的。

主要用于：温度、湿度、压力、加速度、磁场和有害气体种类、浓度的测量。

(7) 谐振式传感器

谐振式传感器是利用改变电或机械的固有参数来改变谐振频率的原理制成的。

主要用于：测量压力。

物理型传感器又可分为物性型传感器和结构型传感器。

(1) 物性型传感器

物性型传感器是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应把被测量直接转换为电量的传感器。即依靠敏感元件材料本身物理性质的变化来实现信号变换。如利用压电晶体本身所具有的正压电效应而制成的压电晶体传感器可以测量压力，利用半导体材料的光电导效应可制成光敏电阻传感器及水银传感器。

(2) 结构型传感器

结构型传感器是以材料的结构（如形状、尺寸等）为基础，利用某些物理规律，把被测信息转换为电量。即依靠传感器结构参数的变化实现信号转变。如电容式传感器和电感式传感器。

2. 电化学型传感器

电化学型传感器是利用电化学反应，把无机和有机化学物质的成分、浓度等转换为电信号的传感器。常用离子选择性电极来测量溶液中的 pH 值或某些离子的活度，如 K、Na、Ca 等。电极的测量对象虽然不同，但其测量原理却大同小异，主要是利用电极界面（固相）和被测溶液（液相）间的电化学反应，也就是利用电极对溶液中离子的选择性响应而产生电位差，它与被测离子活度的对数呈线性关系，故检测出其反应过程中的电位差或由其影响的电流值，即表示被测离子的活度。电化学式传感器广泛用于分析气体、液体或溶于液体的固体成分、液体的酸碱度、电导率、氧化还原电位等参数的测量及环保监测中。

3. 生物型传感器

生物型传感器是一种利用生物活性物质选择性的识别来测定生物化学物质的传感器。其原理是生物活性物质对某种物质具有选择性亲和力，也称其为功能识别能力，利用这种单一的识别能力来判定某种物质的存在及其浓度，进而利用电化学的方法进行电信号的转换。生物型传感器的最大特点是能在分子水平上识别被测物质。它主要用于化学工业的监测及医学诊断等领域。

1.3 传感器的基本特性

传感器所测量的非电量一般有静态和动态两种特性，静态信号是稳定的，不随时间变化或变化极其缓慢的信号；而动态信号是随时间变化而变化的信号。

由于输入量的状态不同，传感器所呈现的输入/输出特性也就不同。所以，为了降低或消除传感器在测量控制系统中的误差，传感器必须具有良好的静态和动态特性，才能使信号（或能量）按规律准确转换。

1.3.1 传感器的静态特性

静态特性是指被测量的值处于稳定状态时，传感器的输出与输入的关系，即输入量不随时间